

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Marina Šumanović

**Sezonska uzrasna struktura zajednice obalčara
(Insecta: Plecoptera) Plitvičkih jezera**

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

Ovaj rad je izrađen u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Marka Miliše, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode.

Prije svega se zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Marku Miliši, voditelju rada, na predloženoj temi, konstruktivnim savjetima, strpljenju i susretljivosti prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na potpori i razumijevanju tijekom mog studiranja.

Zahvaljujem se kolegama i prijateljima na podršci tijekom izrade ovog rada, ali i čitavog studiranja.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

SEZONSKA UZRASNA STRUKTURA ZAJEDNICE OBALČARA (INSECTA: PLECOPTERA) PLITVIČKIH JEZERA

Marina Šumanović

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U proljeće i jesen 2016. godine provela sam istraživanje makrozoobentosa sedrene barijere Labudovac i izvora Bijele rijeke. Cilj istraživanja bio je utvrditi dominantne svojte makrozoobentosa, odrediti i usporediti uzrasnu strukturu obalčara s dva funkcionalno i geografski razdvojena lokaliteta Plitvičkih jezera (izvor i sedrena barijera) te eventualne razlike objasniti učincima različitih ekoloških čimbenika. Fizikalno-kemijski pokazatelji vode ukazuju na konstantne uvjete na izvoru Bijele rijeke te na vrlo oscilirajuće uvjete na barijeri Labudovac. U makrozoobentosu barijere Labudovac dominiraju trzalci (Chironomidae), dok su na izvoru Bijele rijeke najbrojniji obalčari (Plecoptera). Obalčari s oba lokaliteta dominantno pripadaju rodu *Protonemura*. Mjerenjem širina njihovih glava, svrstala sam ih u 10 veličinskih razreda i načinila ukupnu sezonsku sliku uzrasne strukture obalčara iz roda *Protonemura*. Sezonske razlike u veličinskim razredima odgovaraju opisanom univoltnom životnom ciklusu obalčara.

(34 stranice, 19 slika, 2 tablice, 45 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: makrozoobentos, obalčari, uzrasna struktura, sezonska raspodjela, krška voda

Voditelj: Dr. sc. Marko Miliša, izv.prof.

Ocjenitelji: Dr. sc. Marko Miliša, izv. prof., Dr. sc. Tomislav Ivanković, doc., Dr. sc. Antun Alegro, izv. prof.

Rad prihvaćen: 8.1.2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

SEASONAL SIZE STRUCTURE OF STONEFLIES IN PLITVICE LAKES

Marina Šumanović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

The aim of this study was to determine the dominant taxa of macroinvertebrates, seasonal size structure of stoneflies and explain prospective differences by environmental factors at two different sites (spring and tufa barrier). The study was carried out in spring and autumn of 2006 at the Plitvice Lakes National Park, at the tufa barrier Labudovac and at the spring of Bijela rijeka. The physical and chemical parameters of water indicate constant conditions at the spring of Bijela rijeka and very variable at the barrier Labudovac. Dipteran family Chironomidae was the dominant taxon at the barrier Labudovac and stoneflies (Plecoptera) were dominant at the spring of Bijela rijeka. Stoneflies from both sites predominantly belong to *Protonemura* genus. After measuring the width of head capsules, I aligned them into the 10 size classes and made the total seasonal size structure of *Protonemura* genus. Seasonal differences in size classes are according to described univoltine life cycle of stoneflies.

(34 pages, 19 figures, 2 tables, 45 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: macroinvertebrates, stoneflies, size structure, seasonal distribution, karstic water

Supervisor: Dr. sc. Marko Miliša, Assoc. prof.

Reviewers: Dr. Marko Miliša, Assoc. prof., Dr. Tomislav Ivanković, Assist. Prof., Dr. Antun Alegro, Assoc. prof.

Thesis accepted: 8.1.2018.

SADRŽAJ

1. UVOD

1.1. Životni ciklusi akvatičkih kukaca	1
1.2. Red Plecoptera (obalčari)	2
1.3. Hidrogeologija krša	5
1.4. Plitvička jezera	6

2. CILJ ISTRAŽIVANJA 8

3. MATERIJALI I METODE 9

3.1. Područje istraživanja	9
3.2. Uzorkovanje	10
3.3. Obrada uzoraka i analiza podataka	11

4. REZULTATI 12

4.1. Fizikalno-kemijski obilježja vode	12
4.1.1. Barijera Labudovac (Prošćansko jezero)	12
4.1.2. Izvor Bijele rijeke	12
4.2. Makrozoobentos	13
4.2.1. Makrozoobentos barijere Labudovac	14
4.2.2. Makrozoobentos izvora Bijele rijeke	16
4.3. Obalčari	18
4.3.1. Analiza brojnosti obalčara	18
4.3.2. Određivanje uzrasne strukture obalčara	21

5. RASPRAVA 23

6. ZAKLJUČAK 28

7. LITERATURA 29

8. ŽIVOTOPIS 34

1. UVOD

1.1. Životni ciklusi akvatičkih kukaca

Za razumijevanje slatkovodnih ekosustava, presudno je poznavanje biologije živog svijeta koji u njemu živi. Poznavanje biologije podrazumijeva životni ciklus pojedine svojte ili vrste čime se nadalje stječe znanje o interakcijama i odnosima unutar ekosustava (Beracko, Sykorova i Štangler, 2012.). Većina detaljnijih ekoloških istraživanja, kao što je procjena sekundarne proizvodnje ili istraživanje populacijske dinamike, suvremena istraživanja o strukturi i funkciji vodenih zajednica i ekosustava, ne mogu se izvršiti bez poznavanja životnog razvoja vrsta na pojedinoj geografskoj lokaciji (Tierno de Figueroa, i sur. 2009.). Također, sa stajališta očuvanja bioraznolikosti, važno je da razumijemo životne cikluse te primjereno provodimo nadzor i oblikujemo planove očuvanja temeljenih na podacima o životnim ciklusima vrsta (Zwick, 2004.). U kontekstu živog svijeta koji čini slatkovodne ekosustave, od velike važnosti je kategorija makrozoobentosa, beskralješnjaka koji obitavaju na, u i pri dnu vodenih staništa. Makrozoobentos ima središnju ulogu u toku energije bentičkih hranidbenih mreža (Bottova, 2013.). S jedne strane glavna je karika od primarnih producenata ka višim trofičkim razinama, a s druge sudjeluje u razgradnji i ponovnom metaboliziranju odumrle tvari (detritusa). Značajan, a najčešće i dominantan udio u makrozoobentosu čine vodeni ili akvatički kukci, kako brojnošću, tako i biomasom. Većina akvatičkih kukaca su prije svega specifični po tome što samo dio svog životnog ciklusa provode u vodi, i to onaj u ličinačkoj fazi. Daljnjim sazrijevanjem i rastom, akvatička ličinka bliži se procesu preobrazbe u odrasli stadij i prelasku u kopneni ekosustav procesom izlijetanja (emergencije). U odraslom stadiju jedinke se pare te se ciklus završava polaganjem oplođenih jajašaca u vodu.

Tijek životnog ciklusa ovih kukaca vođen je različitim okolišnim promjenama ili događajima, poglavito razdobljima poplava ili suša, dostupnošću hrane ili sezonskim obrascima u promjeni temperature (Sweeney i sur., 1986.; Richardson, 2001.; Jannot i sur., 2007.). Kolikogod pojam akvatičkih kukaca bio prije svega taksonomski heterogen, zajedničko svojstvo većine kukaca u umjerenom pojasu je uvjetovanost životnog ciklusa temperaturom vode (Vannote i Sweeney, 1980.). Temperatura je ključan je čimbenik za embrionalni razvoj, rast ličinke, emergenciju, metabolizam i konačno, preživljavanje (Sweeney i Vannote, 1978.; Watanabe i sur., 1999.; Haidekker i Hering, 2008.). Fotoperiod, odnosno dužina dana također značajno utječe

na životne cikluse vodenih kukaca, utječe na ličinačku dijapauzu, odnosno količinu vremena potrebnu za kompletan razvoj ličinke i emergenciju (Ivković i sur., 2013. i 2015.). U okolišu s temperaturom koja je konstantna tijekom cijele godine, fotoperiod je glavni okidač za sezonske promjene ključne za promjenu stadija životnog ciklusa, odnosno glavni podražaj za početak ili kraj bioloških procesa kao što su izlijeganje iz jajeta ili emergencija (Sweeney, 1984., Ivković i sur., 2013.).

1.2. Red Plecoptera (obalčari)

Obalčari su red vodenih kukaca koji predstavljaju važnu komponentu, kako biomasom tako i ekološkom ulogom, unutar zajednice bentoskih beskralješnjaka rijeka i potoka (Hynes, 1970.; Stewart i Stark, 1993.). Obalčari su mali do srednje veliki kukci koji su, unatoč tome što u odraslom stadiju imaju dva para opnastih krila, loši letači i stoga se rijetko udaljuju od vode. Prednja su krila uska i duga, dok su stražnja široka i lepezasta. U stanju mirovanja, krila su položena duž tijela. Pojedine vrste nemaju krila. Ticala su im duga i nitasta, a na kraju tijela imaju dva nitasta, člankovita cerka. Na krajevima svih triju para nogu imaju po dvije pandžice. Obalčari su hemimetabolni kukci, tj. imaju nepotpunu preobrazbu što znači da ličinke nalikuju odraslim jedinkama, ali s obzirom na to da žive u vodi, za razliku od odraslih, nemaju krila i imaju uzdušničke škrge na bazi nogu (slika 1 i 2) (Graf i Schmidt-Kloiber, 2003. i 2008., Habdija i sur., 2011.).

Ličinke najčešće žive ispod kamena u pretežito hladnim (s temperaturom koja ne prelazi 25 °C), prirodnim i čistim potocima s visokom koncentracijom otopljenog kisika (Hynes, 1961.; Wigglesworth, 1972.), dok se odrasle jedinke zadržavaju na vegetaciji uz tekuće i stajće vode (Habdija i sur., 2011.). Životni ciklus obalčara može trajati od manje od godine dana do nekoliko godina, s variranjem koje uglavnom ovisi ili o pojedinoj vrsti ili o temperaturi vode (Brittain, 1973.; Brittain i Lillehammer, 1987.; Williams i sur., 1995., Graf i Schmidt-Kloiber, 2008.). Ženka leti iznad vode i polaže jaja u vodu ili na obližnji kamen ili granu; jajašaca, kojih može biti i do tisuću, omotana su sluzi u formi grudice kako bi bolje prijanjala uz podlogu i oduprla se potencijalnom otplavlivanju. Prve ličinke izlegu se obično nakon dva do tri tjedna, uz iznimku nekih vrsta koje prolaze dijapauzu tijekom sušne sezone i izliježu se tek kada uvjeti postanu dovoljno povoljni. U ličinačkom stadiju, jedinke

moгу provesti do 4 godine, ovisno o vrsti, te se do faze emergiranja i odraslog stadija presvlače 10 do 30 puta. Rast tijekom ličinačkog razdoblja otprilike je konstantan cijelo vrijeme, osim na kraju, kada se stopa rasta poveća (Tiziano i sur., 2009.). Prije nego što prijeđu u odrasli stadij, ličinke napuštaju vodu, nalaze stabilnu podlogu te se presvlače posljednji put. Odrasli kukci žive samo nekoliko tjedana (Hoell i sur., 1998.). Emergiranje se uglavnom odvija od ranog proljeća do ljeta, u vrijeme postizanja najpovoljnijih uvjeta za izlazak iz vode (Tiziano i sur., 2009.). Obalčari su pretežito univoltini, tj. donose samo jednu generaciju potomaka u godini dana. Međutim, zabilježeni su primjeri među nekim rodovima ili određenim populacijama nekih vrsta koji su semivoltini, tj. generacijsko vrijeme im je duže od godine dana. Okolišna temperatura (Brinck 1949.; Hynes, 1970.) te kvantiteta i kvaliteta hrane (Lillehammer, 1975.; Anderson i Cummins 1979.; Baekken, 1981.), ali i fotoperiod (Kožačekova, 2009.) ključni su faktori za stopu rasta i trajanje životnog ciklusa.



Slika 1. Ličinački stadij obalčara (www.joycegross.com)

Obalčari su jedan od najstarijih redova kukaca s fosilima koji potječu iz razdoblja perma (Habdija i sur., 2011.). Globalna raznolikost vrsta unutar reda Plecoptera ukazuje na više od 3497 opisanih vrsta rasprostranjenih u 16 porodica, razvrstanih u 286 rodova (Fochetti i Tierno de Figueroa, 2008.). Većina istraživanja provedena su u Sjevernoj Americi i Europi, gdje je zabilježeno 650 (Stark, Baumann, 2005.) i 571 vrsta (Graf i sur., 2009.). Ostali dijelovi svijeta nisu dovoljno istraženi te nemaju reprezentativnu procjenu brojnosti vrsta. U Hrvatskoj ličinke obalčara zauzimaju

značajno mjesto u vodenoj fauni, i brojnošću i biomasom, te su najzastupljenije kroz porodice: Nemouridae, Leuctridae, Perlidae i Perlodidae te nešto rjeđe kroz porodice: Taeniopterygidae i Chloroperlidae (Habdića i sur., 2011.).

S obzirom na to da su poznati po tome što su stenovalentni s obzirom na većinu ekoloških parametara koji su pokazatelj poremećaja (npr. smanjena količina otopljenog kisika u vodi) i opterećenja vode stranim tvarima (veći udio hranjivih soli koji za posljedicu ima eutrofizaciju ili količina toksina ili količine otopljene organske tvari) dobri su indikatori kakvoće vode. Uslijed izrazite osjetljivosti obalčara, kolebanje abiotičkih čimbenika može vrlo lako dovesti do lokalnog ili čak globalnog izumiranja svojte, na što ukazuje i sama činjenica da obalčari pokazuju visok postotak endemizma. Sve u svemu, obalčari su jedna od najugroženijih grupa vodenih kukaca, čime još više dobivaju na lokalnoj i globalnoj važnosti (Fochetti i Tierno de Figueroa, 2006.).

Obalčari imaju usne organe za grizenje (Zwick, 2004.), ali se način prehrane i vrsta hrane koju uzimaju, mijenja tijekom života (Monakov, 2003.). Odrasle jedinke su biljojedi ili se uopće ne hrane (Hoell i sur., 1998.).

Ličinke su po načinu na koji uzimaju hranu znatno kompleksnije. Najčešće su detritivori (eng. *detritivores*), ali mogu biti i usitnjivači (eng. *shredders*), strugači (eng. *grazers*) i grabežljivci (eng. *predators*). Naravno, rijetko se hrane isključivo jednim načinom te i tijekom života, ali i u odnosu na raspoloživost hrane mijenjaju navike. Tako će se, na primjer, ako je u okolišu dostupan velik broj epilitskih i epifitskih, odnosno obraštajnih dijatomeja ili gljiva, ličinke njima hraniti kao strugači, premda prvenstveno pripadaju detritivorima. Stoga, prilikom analize sadržaja probavila, kod većine ćemo jedinki naći raznorodne tipove hrane (Moog, 2002. i 2003., Kozačková, 2009.).



Slika 2. Odrasli stadij obalčara (www.joycegross.com)

1.3. Hidrogeologija krša

Krš je vrsta izrazito razvedenog reljefa s velikim brojem udubina i uzvisina koje nastaju kao posljedica izrazite topljivosti stijena građenih od kalcijevog karbonata (kalcita) ili vapnenca. Mogu biti građene i od magnezijevog karbonata, te se naziva dolomitnim kršem, ako je udio magnezijevog karbonata veći od polovice.

Kada je riječ o krškim vodama, krška podloga koja ih omeđuje utječe na sastav vode i procese u njoj. Naime, prolaskom kišnice kroz atmosferu te posebno kroz tlo i reakcijom s ugljikovim dioksidom nastaje ugljična kiselina. Kisela otopina otapa vapnenac jer protoni djeluju na vezu između kalcijeva (magnezijeva) i karbonatnog iona. Zbog tog procesa, voda postaje zasićena kalcijevim i magnezijevim i (bi)karbonatnim ionima. Izbijanjem na površinu parcijalni tlak ugljikova dioksida se smanjuje (u tlu je oko 100 puta veći). Time se ugljikov dioksid isplinjava iz otopine čime se kemijska ravnoteža pomiče u smjeru ponovnog spajanja iona kalcija i karbonata te se pri pH višem od 8 stvaraju kristali koji se obaraju na podlogu. Ovaj se proces naziva osedranje. Osedranje potiču i neki drugi čimbenici okoliša u sprezi s povišenjem pH – primjerice povišena temperatura, dovoljna količina otopljenog bikarbonata, veća brzina strujanja vode, itd. (Miliša i sur., 2006., Zhang i sur., 2001., Pedley, 2000., Srdoč, 1985., Matoničkin i sur., 1971.). Osedranje je potaknuto i podlogom primjerice na podlozi obrasloj epifitima: alge, mahovine i mikroorganizmi izlučuju ljepljivu mukopolisaharidnu tvar koja služi kao nukleacijsko mjesto (Degens, 1976.). Smatra se da su i heterotrofni organizmi mijenjanjem svog okoliša zaslužni za

ometanje toka vode, poticanje njene turbulentnosti te stoga i izlazak ugljikovog dioksida (Carthew, 2003.).

Sedrene barijere vrlo su povoljne za razvoj mahovina, koje potom zbog fotosintetskog apsorpiranja ugljikovog dioksida, nakupljanja kristala kalcita, skeletnih ostataka mikroorganizama zajedno povezanih mukopolisaharidima, na novo konstruiraju nove slojeve sedre (Chafetz i Folk, 1984.). Sve u svemu, osedranje je složeni proces koji se može ostvariti uz fizičko-kemijske uvjete prezasićenosti vode kalcijevim karbonatom, niskom koncentracijom organske tvari, pH-om iznad 8, ali i uz prisustvo i aktivnost živih organizama (Matonićkin, Pavletić, 1960.).

Plitvička jezera pripadaju Dinarskom krškom području, a prepoznatljive su po sustavu kaskadnih jezera. Kaskadni sustav jezera rezultat je kompleksnih geoloških i hidroloških procesa koji su završili u prošlosti ili traju idalje. Međutim, bitna stavka Plitvičkog sustava jest osedranje i sedrene barijere (Primc-Habdija i sur., 2001.).

1.4. Plitvička jezera

Plitvička su jezera najveći, najstariji i najposjećeniji hrvatski nacionalni park. Proglašena su nacionalnim parkom 8. travnja 1949. godine. Zbog iznimno bogate kulturne, povijesne i prirodne baštine. svrstana su na UNESCO-vu listu svjetske baštine 1979. godine. Nacionalni park čini kompleks od šumovitog planinskog kraja u kojemu se nalazi kaskadni sustav od 16 jezera različite veličine i nadmorske visine. Jezera se opskrbljuju vodom preko sustava brojnih rječica i potoka, a međusobno su povezana slapovima i kaskadama. Površinski i podzemni dijelovi jezera dio su sliva rijeke Korane. Jedna od temeljnih osobitosti parka su sedrene barijere, s bogatom hidrogeološkom prošlošću od 10 tisuća godina. Navedenih 16 jezera dijele se na Gornja i Donja jezera. Gornja jezera čine: Prošće, Ciginovac, Okrugljak, Batinovac, Veliko, Malo, Vir, Galovac, Milino, Gradinsko jezero, Veliki burget i Kozjak, dok su Donja jezera: Milanovac, Gavanovac, Kaluđerovac, Novakovića Brod. Razlika između ovih dvaju skupina jezera je ta što se Gornja jezera nalaze u reljefno otvorenoj dolomitnoj dolini, a Donja su u vapnenačkom kanjonu. Voda se kaskadnim sustavom prelijeva preko barijera u slapovima, od najvišeg Proščanskog jezera, na 636 metara nadmorske visine, do najnižeg jezera, Novakovića Brod, na 503 metara nadmorske

visine, dakle, s konačnom razlikom u padu od otprilike 133 metara te zračne udaljenosti od 5640 metara (Riđanović, 1994.).

Park se nalazi na području dviju županija, većinski na području Ličko-senjske (91%), te manjim dijelom u Karlovačkoj županiji (9%); nalazi se između planina Velike i Male Kapele na zapadu i Plješivice na istoku usred Dinarskog krša (Stilinović i Božičević, 1998.). Ukupna površina parka je 29,685 hektara, od čega jezera čine 200 ha, šume 13,320 ha, dok ostatak otpada na travnjake i druge površine.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj mojeg istraživanja jest:

1. Utvrditi dominantne svojte zajednice makrozoobentosa, s posebnim fokusom na obalčare izvora i sedrene barijere Plitvičkih jezera
2. Odrediti i usporediti uzrasnu strukturu odabranih svojti obalčara na dva funkcionalno i geografski razdvojena lokaliteta Plitvičkih jezera: 1. izvor i 2. sedrena barijera
3. Usporediti učinke različitih ekoloških okolnosti na eventualne razlike uzrasne strukture obalčara

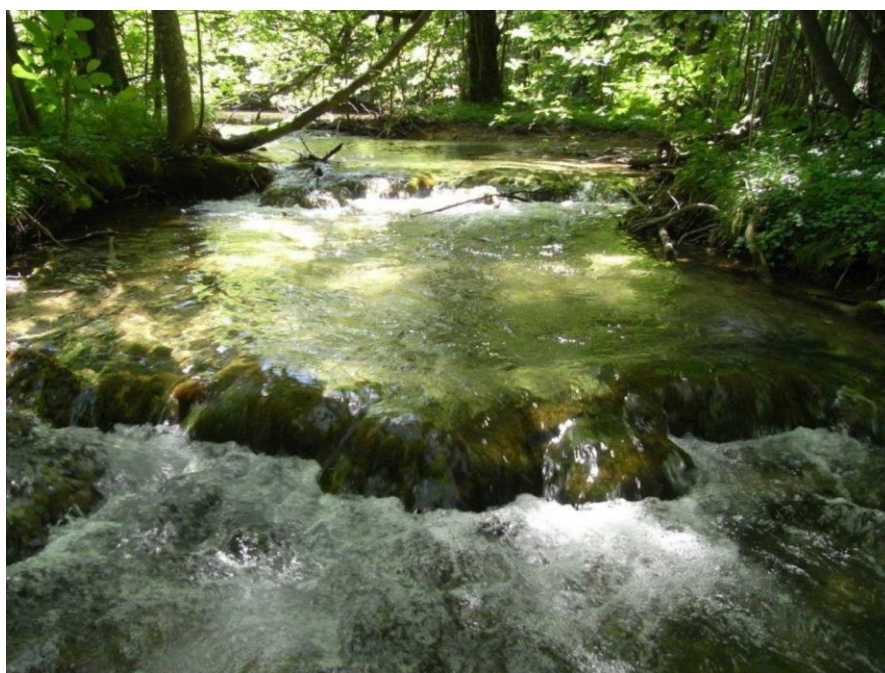
3. MATERIJALI I METODE

3.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Uzorke sam uzimala na dvama lokalitetima: 1.) barijera Labudovac i 2.) izvor Bijele rijeke.

Barijera Labudovac (slika 3), omeđuje kraj Prošćanskog jezera koje je prvo jezero u nizu Plitvičkih jezera. Površinom i dubinom je drugo najveće jezero, a nalazi se u sustavu gornjih jezera. Duboko je 37 m te s obzirom na to da je smješteno na visini od 636 m nadmorske visine, najviše je jezero.

Izvor Bijele rijeke (slika 4) je blagi reokreni izvor s površinom sliva od 8.900 km² te ga odlikuju stalna temperatura vode i uglavnom stalan tok (bez znatnijeg kolebanja kroz godinu). Bijela rijeka pripada Crnomorskom slivu te porječju Save. Ona se nizvodno spaja s Crnom rijekom u rijeku Maticu, koja utječe u Prošćansko jezero. Lokalizirani su izabrani radi geografske, hidrološke i funkcionalne razdvojenosti, naime barijeru Labudovac čine sedrene barijere, koje na izvoru Bijele rijeke nisu prisutne. Zbog ovakve biološko-geomorfološke razlike u staništima navedenih lokaliteta, bit će zanimljivo izvršiti usporedbu u prisutnim zajednicama makrozoobentosa.



Slika 3. Barijera Labudovac, Prošćansko jezero



Slika 4. Izvor Bijele rijeke

3.2. Uzorkovanje

Uzorkovanje sam izvršila jezgrilom (eng. *corer*, *core sampler*, slika 5) i to kvadratnim, s duljinom stranice od 5 cm. Jezgrilo utisnuto u supstrat zahvatilo je kvantitativan uzorak mahovinskog obraštaja do dubine od 2 cm, s konačnim volumenom od 50 cm³. Uzorci su skupljeni u replikatu, u rano proljeće i jesen 2016. godine te fiksirani u etanolu do laboratorijske analize. Osim samog uzorkovanja, provedena su i mjerenja ekoloških, odnosno fizikalno-kemijskih parametara kao što su temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika pomoću sonde WTW Oxi 95, provodljivost sondom Hach sensION te pH vode sondom WTW pH 330i. Na postajama sam također prilikom uzorkovanja uzela u obzir hidrološko stanje staništa ili brzinu strujanja vode te stoga na svakoj postaji razlučila dva hidrološka staništa: brzinu strujanja veću od 80 cm s⁻¹ ili brzu struju vode i brzinu strujanja manju od 40 cm s⁻¹ ili sporu struju vode.



Slika 5. Jezgrilo

3.3. Obrada uzoraka i analiza podataka

Makrozoobentos prikupljenih uzoraka odvojila sam od fitala i ostalog anorganskog sedimenta pomoću lupe Zeiss Stemi c2000. Izolirane jedinke grupirane su uglavnom do taksonomske razine reda te fiksirane u 70 %-tnom etanolu. U skladu s ciljevima mog istraživanja i rada, dodatna je analiza i pozornost pridana ličinkama iz reda Plecoptera ili oblačarima. Osim što su jedinke obalčara klasificirane do razine roda, obavila sam i morfometrijska mjerenja jedinki u svrhu određivanja uzrasne strukture. Mjerenje sam provela pomoću milimetarskog papira postavljenog ispod predmetnog stakalca, koje je na sebi imalo naznačeno mikrometarsko mjerilo (mikrometarski preparat eng. *stage micrometer*). Jedinkama sam samo mjerila širinu glave, s obzirom na to da je određen udio ličinki imao oštećeno tijelo te stoga mjerenje dužine tijela gubi na relevantnosti kao univerzalni parametar određivanja uzrasne strukture. Podaci provedene izolacije makrozoobentosa i morfometrijskih mjera ličinki obalčara unijela sam u bazu podataka u programu Microsoft Office Excel 2011 u kojemu sam obavila većinu analiza i obrade podataka (izrade grafičkih i tabličnih prikaza).

4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijska obilježja vode

4.1.1. Barijera Labudovac (Prošćansko jezero)

Temperatura vode je bila viša u jesen nego u proljeće i to redom 9.9 °C i 8 °C. Svi ostali mjereni parametri viši su u proljeće nego u jesen (slika 6). Količina otopljenog kisika u proljeće prilično je viša od one u jesen, 11.23 mg dm⁻³ u odnosu na 9.47 mg dm⁻³. Tako je zasićenje kisikom u proljeće 101.1 %, a u jesen 88.3 %. Vrijednost pH u proljeće je 8.36, a u jesen sam izmjerila 8.22. Proljetna provodljivost je 435 µS cm⁻¹, a jesenska 406 µS cm⁻¹.

Tablica 1. Fizikalno-kemijski parametri vode na barijeri Labudovac, u proljeće i jesen 2016.

	30.3.2016.	27.10.2016.
t (°C)	8.0	9.9
[O₂] (mg dm⁻³)	11.23	9.47
pH	8.36	8.22
Provodljivost (µS cm⁻¹)	435	406

4.1.2. Izvor Bijele rijeke

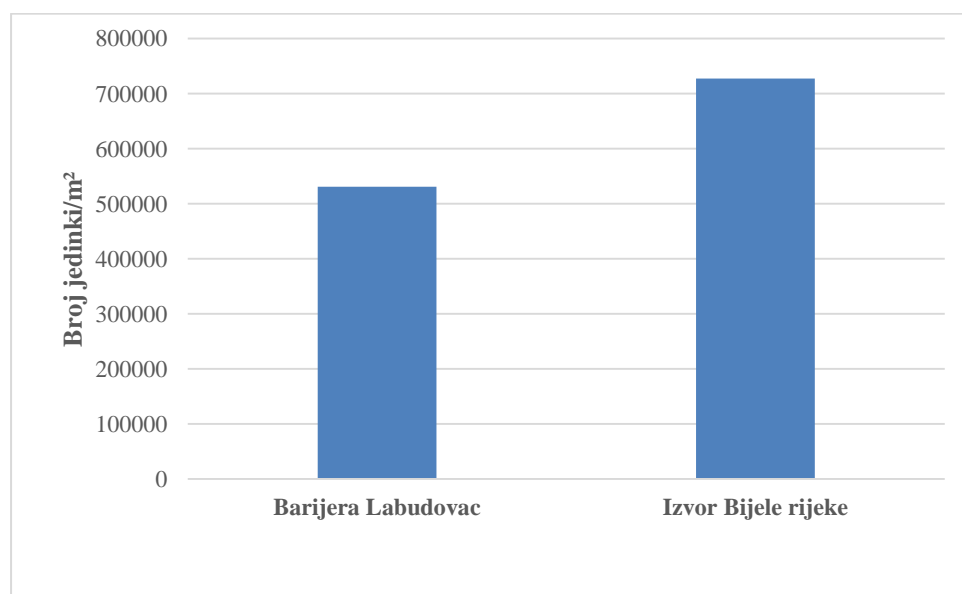
Temperatura vode u proljeće bila je nešto viša od one u jesen i to redom 8 °C i 7.8 °C. Količina otopljenog kisika u jesen viša je od proljetne, to su vrijednosti 10.31 mg dm⁻³ i 10.00 mg dm⁻³. Zasićenje vode kisikom u jesen je 92.7 %, a u proljeće 90.8 %. Proljetna provodljivost iznosi 498 µS cm⁻¹, a jesenska 454 µS cm⁻¹. Vrijednost pH je također viši u proljeće te iznosi 7.81, dok je u jesen 7.6 (slika 7). Što se hidrologije tiče, proljetni vodostaj mjerio je 48 cm, s brzinom protoka od 1.217 m³ s⁻¹, dok je jesenski vodostaj bio 26 cm, s brzinom protoka 0.313 m³ s⁻¹.

Tablica 2. Fizikalno-kemijski parametri vode na izvoru Bijele rijeke, u proljeće i jesen 2016.

	30.3.2016.	27.10.2016.
t (°C)	8.0	7.8
[O₂] (mg dm⁻³)	10.00	10.31
pH	7.81	7.6
Provodljivost (μS cm⁻¹)	498	454

4.2. Makrozoobentos

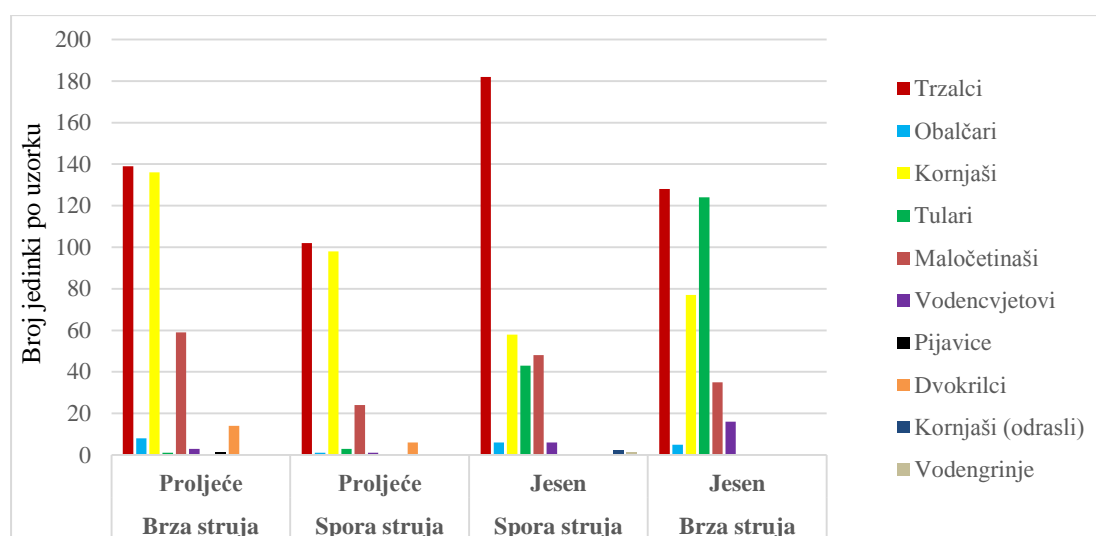
Sastav makrozoobentosa razlikovao se između dvaju lokaliteta, ali i unutar istog lokaliteta s obzirom na godišnje doba i/ili brzinu strujanja vode. Na izvoru Bijele rijeke bilo je više jedinki na barijeri Labudovac. U svrhu predočivijeg prikaza, dobivene sam vrijednosti preračunala za površinu od m² (slika 6). Ostale brojnosti skupina izražene su po površini korera, odnosno 25 cm².



Slika 6. Usporedba brojnosti makrozoobentosa na m², s obzirom na istraživačku postaju

4.2.1. Makrozoobentos barijere Labudovac

Na barijeri Labudovac u zajednici makrozoobentosa utvrdila sam sljedeće skupine organizama: dvokrilci (Diptera), s dominantnom porodicom trzalaca (Chironomidae), obalčari (Plecoptera), kornjaši (Coleoptera), tulari (Trichoptera), maločetinaši (Oligochaeta), vodencvjetovi (Ephemeroptera), pijavice (Hirudinea), vodengrinje (Hydrachnidia) (slika 7). Ukupno sam izolirala 1327 jedinki.

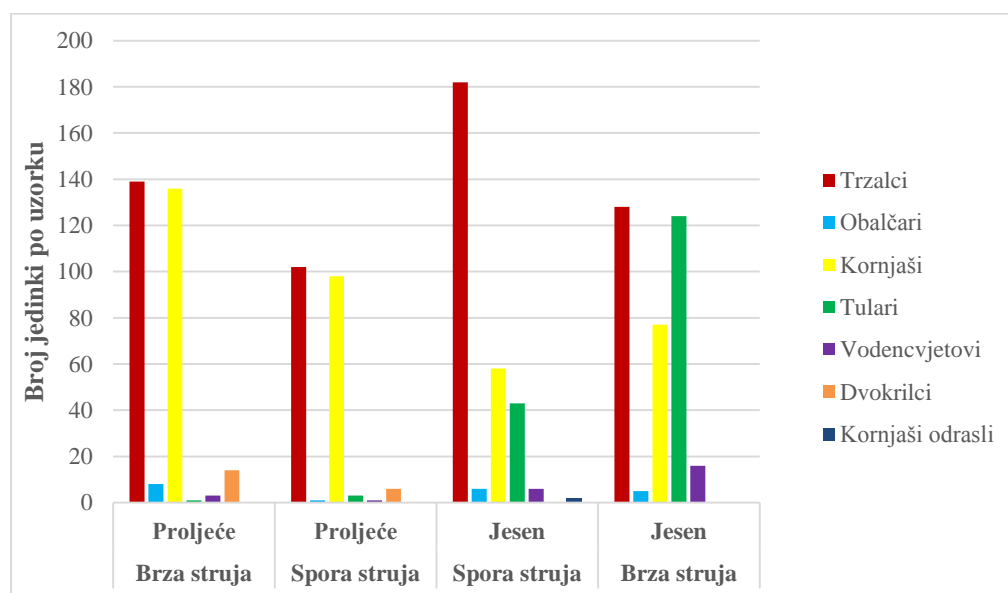


Slika 7. Sastav makrozoobentosa barijere Labudovac, u proljeće i jesen 2016.

Većinu makrozoobentosa čine ličinke vodenih kukaca. Brojnošću je dominantan red dvokrilci, točnije predstavnici porodice trzalci, s ukupno 551 jedinkom. Time trzalci čine više od trećine cjelokupnog makrozoobentosa, bez obzira na godišnje doba uzorkovanja ili brzinu strujanja vode. Trzalci su daleko najbrojniji za vrijeme jesenske sezone, na području spore struje, sa 182 jedinke. Iduća najbrojnija skupina su kornjaši, iako s većom oscilacijom u broju jedinki ovisno o sezoni i brzini struje u odnosu na trzalce.

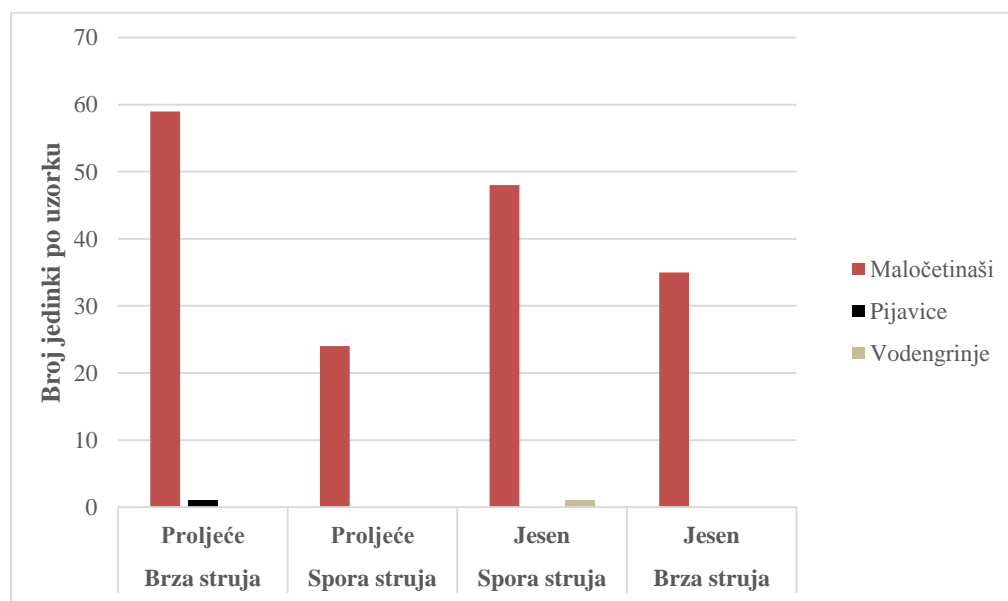
Brojnost tulara je također izraženo oscilirala: za vrijeme proljetne sezone njihov je broj praktički zanemariv, dok su za vrijeme jeseni, na području brze struje, brojni kao i trzalci. Obalčari kontinuirano su jako rijetko, gotovo zanemarivo prisutni,

slično kao i vodencvjetovi, kojih u proljeće praktički niti nema, a u brojnijoj jesenskoj sezoni jedinki nema niti 20 (slika 8).



Slika 8. Broj jedinki vodenih kukaca u makrozoobentosu barijere Labudovac, u proljeće i jesen 2016.

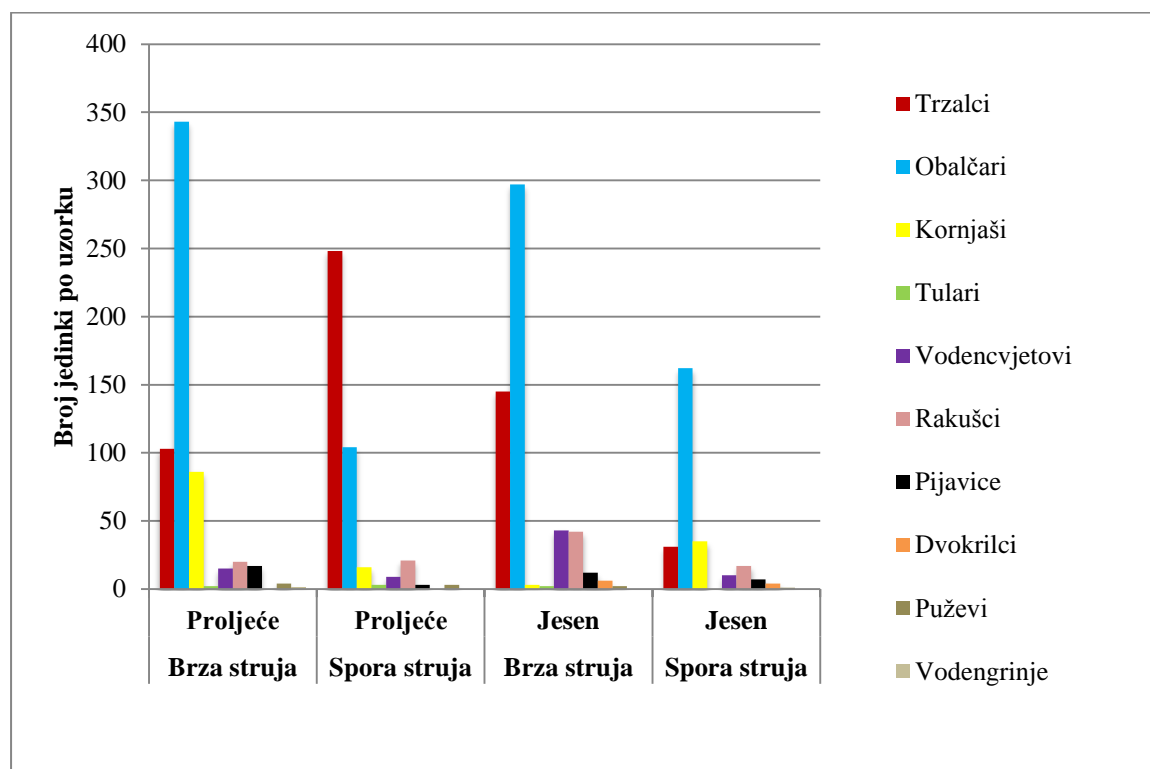
Broj jedinki makrozoobentosa, koje nisu vodeni kukci, iznosi 182, od čega su maločetinaši neusporedivo dominantni u odnose na ostale skupine kao što su vodengrinje i pijavice, čiji je broj zanemariv (slika 9).



Slika 9. Broj jedinki ostalih beskranješnjaka u makrozoobentosu barijere Labudovac, u proljeće i jesen 2016.

4.2.2. Makrozoobentos Bijele rijeke

Makrozoobentos na izvoru Bijele rijeke činile su ove skupine: dvokrilci (Diptera), odnosno porodica trzalci (Chironomidae), obalčari (Plecoptera), kornjaši (Coleoptera), tulari (Trichoptera), vodencvjetovi (Ephemeroptera), rakušci (Amphipoda), pijavice (Hirudinea), puževi (Gastropoda), vodengrinje (Hydrachnidia) (slika 10). Ukupan broj izoliranih jedinki je 1819.

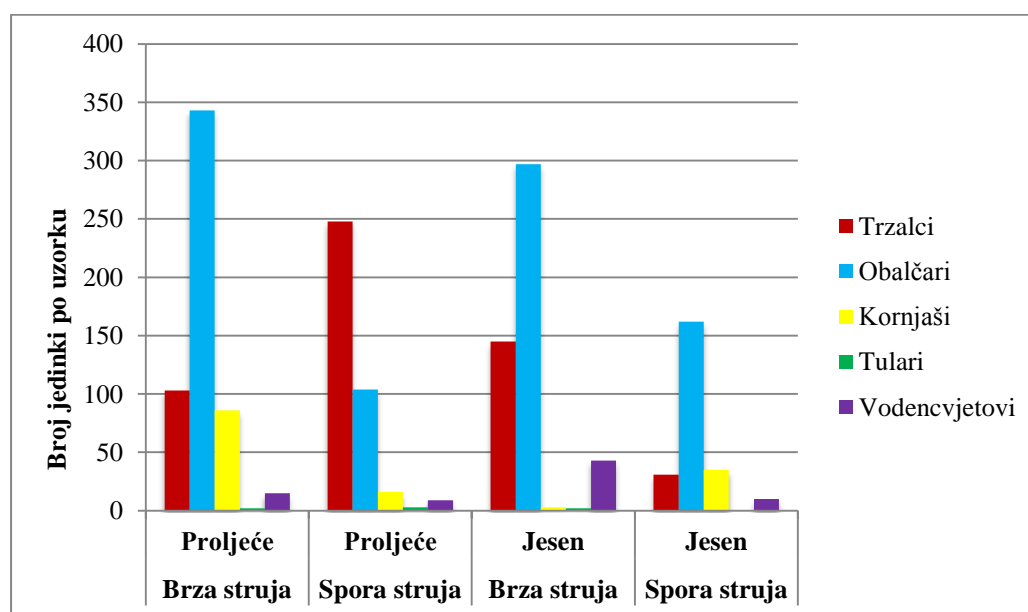


Slika 10. Sastav makrozoobentosa izvora Bijele rijeke, u proljeće i jesen 2016.

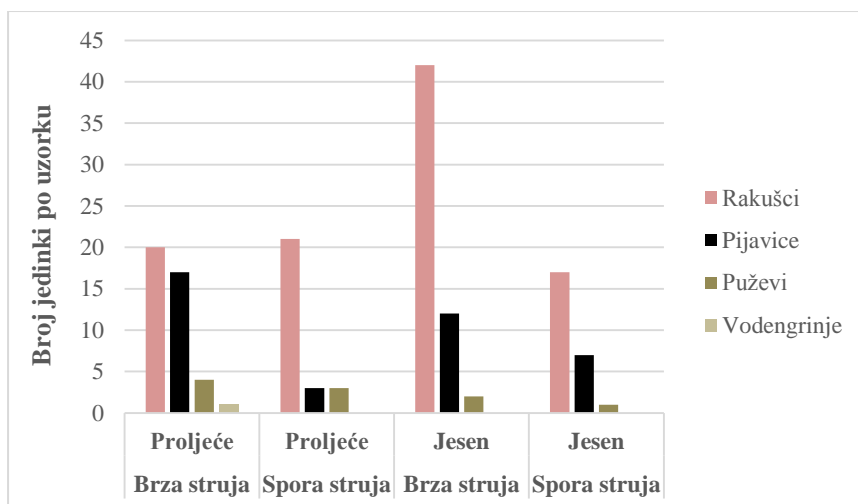
I na izvoru Bijele rijeke makrozoobentos je najvećim dijelom sastavljen od ličinki vodenih kukaca. Međutim, na ovom su lokalitetu najbrojnija skupina kukaca obalčari, čiji je broj jedinki iznosio čak 906 te time čine polovicu ukupnog makrozoobentosa. Trzalci su sljedeća najbrojnija skupina kukaca. Broj kornjaša vrlo oscilira, od skoro

90 jedinki u proljeće pada na 3 za vrijeme jeseni. Vodencvjetovi su ujednačenije prisutni, s maksimalnom brojnošću od 40ak jedinki u jesen, na području brze struje. Tulari su kontuirano prisutni u zanemarivo malom broju (slika 11).

Broj jedinki makrozoobentosa, koje nisu vodeni kukci, iznosi 150, od čega su uvjerljivo najdominantniji rakušci, koji uopće nisu zabilježeni kod barijere Labudovac. Također, na izvoru Bijele rijeke prisutni su i puževi, kojih također nije bilo na Labudovcu, dok su pijavice, koje su prisutne na oba lokaliteta, puno brojnije na izvoru Bijele rijeke. Jedina skupina koja nije prisutna na izvoru Bijele rijeke, a prisutna je na Labudovcu jesu maločetinaši (slika 12).



Slika 11. Broj jedinki vodenih kukaca u makrozoobentosu izvora Bijele rijeke, u proljeće i jesen 2016

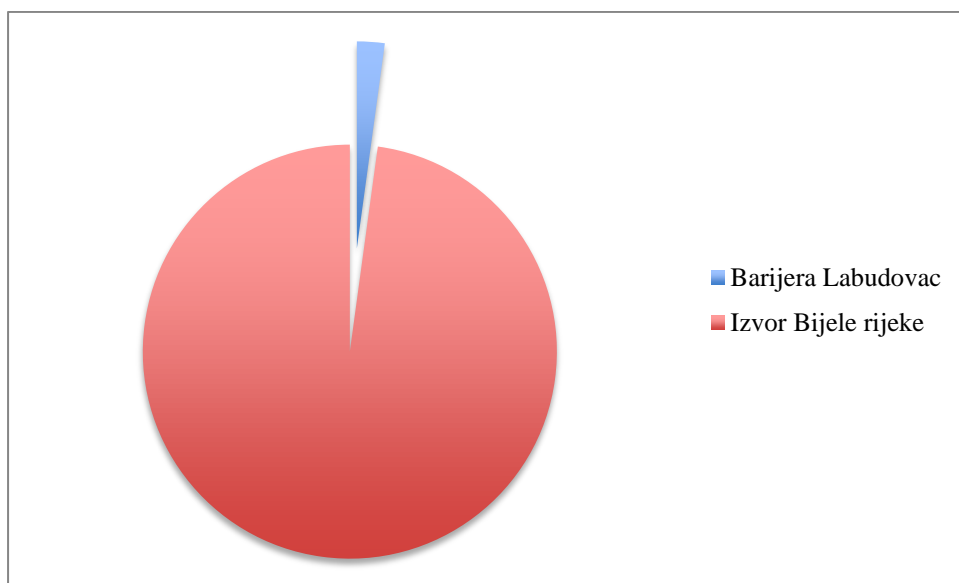


Slika 12. Broj jedinki ostalih beskraljješnjaka u makrozoobentosu izvora Bijele rijeke, u proljeće i jesen 2016.

4.3. Obalčari (Plecoptera)

4.3.1. Analiza brojnosti obalčara

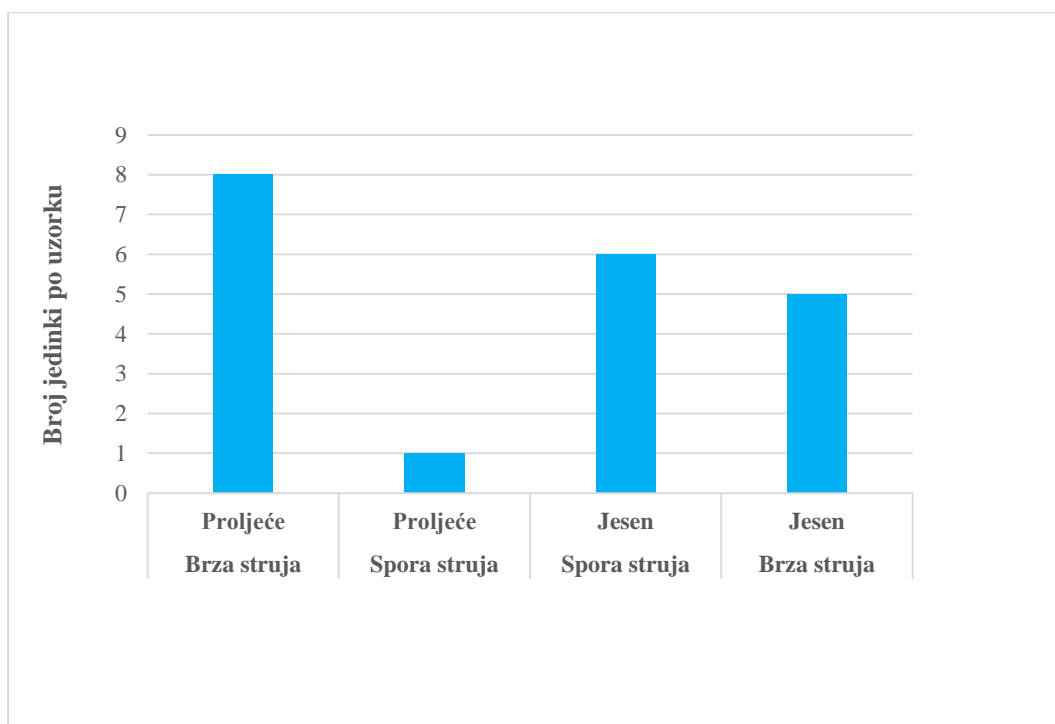
Vodene ličinke obalčara prisutne su u uzorcima s oba lokaliteta, uz uočenu pravilnost da su na izvoru Bijele rijeke neusporedivo brojniji nego na barijeri Labudovac. Ukupan broj jedinki iznosio je 926, da bi na barijeru Labudovac otpalo samo 20 jedinki (slika 13).



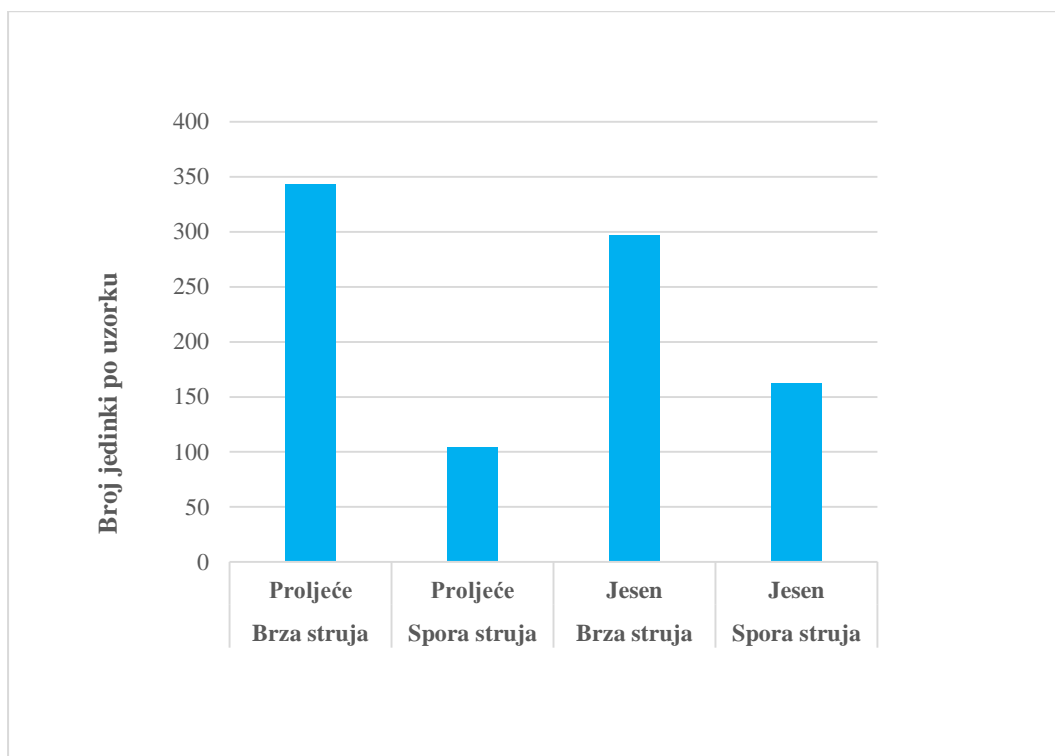
Slika 13. Odnos u brojnosti ličinki obalčara s obzirom na istraživačku postaju

Brojnost obalčara je najviše kolebala u proljeće; na području brze struje postignuta je najveća brojnost, a na području spore struje najmanja brojnost ukupne slike izoliranih obalčara s barijere Labudovac tijekom obje sezone. Za vrijeme jesenske sezone, brojnost jedinki bila je vrlo ujednačena, bez pokazivanja ovisnosti o čimbeniku brzine strujanja vode (slika 14).

Na izvoru Bijele rijeke, osim ukupne zabilježene relativno velike brojnosti jedinki obalčara, jasno je vidljivo da su obalčari daleko brojniji na području brze struje nego na području spore struje. Također, kao i na barijeri Labudovac, prisutna je velika oscilacija u proljeće; najveća ukupna brojnost je u proljeće na predjelu brze struje, dok je najmanja ukupna brojnost na predjelu spore. Jesenska sezona je više ujednačena po pitanju brojnosti, iako je vidljivo da brza struja više pogoduje brojnosti obalčara i u jesenskoj sezoni (slika 15).



Slika 14. Broj jedinki obalčara barijere Labudovac, u proljeće i jesen 2016.



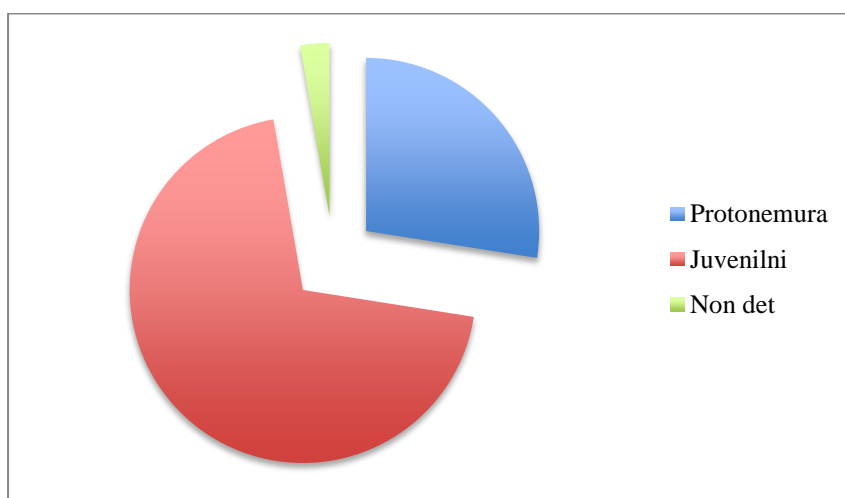
Slika 15. Broj jedinki obalčara izvora Bijele rijeke, u proljeće i jesen 2016.

Determinacija izoliranih ličinki obalčara s oba lokaliteta pokazala je da je dominantna svojta obalčara rod *Protonemura*. Ličinke iz ovog roda bilo je lako prepoznati po karakterističnom obliku, broju i smještaju škrge. Naime, na prvom prsnom kolutiću, tj. pronotumu imaju smještene škrge kobasičastog oblika, raspoređene po tri u svakome svežnju (slika 16).



Slika 15. *Protonemura* sp.

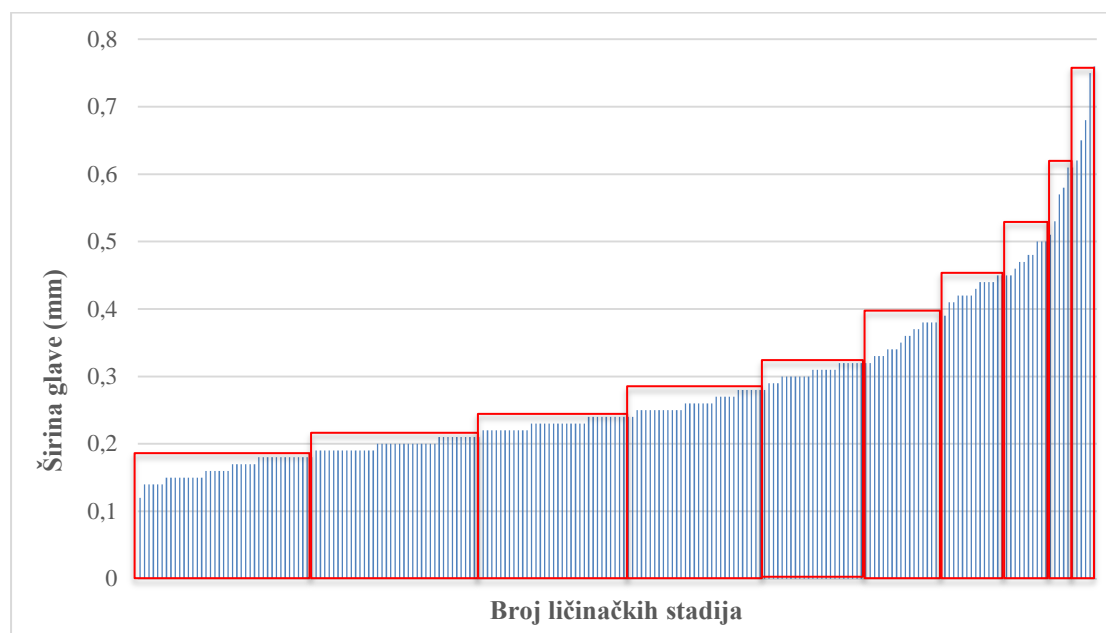
Preostale ličinke nije bilo moguće podvrgnuti morfološkoj analizi jer su u preranom stadiju, u kojemu nisu dovoljno anatomske izdiferencirane te su kao takve svrstane kao “juvenilne”. Također, bilo je i ličinki koje je zbog prevelike oštećenosti bilo preteško determinirati te su obilježene oznakom “non det”. Od izoliranih ličinki obalčara, najveći udio čine juvenilne, zatim slijede one iz roda *Protonemura* i naposljetku, manjinu čine oštećene, “non det” ličinke (slika 17).



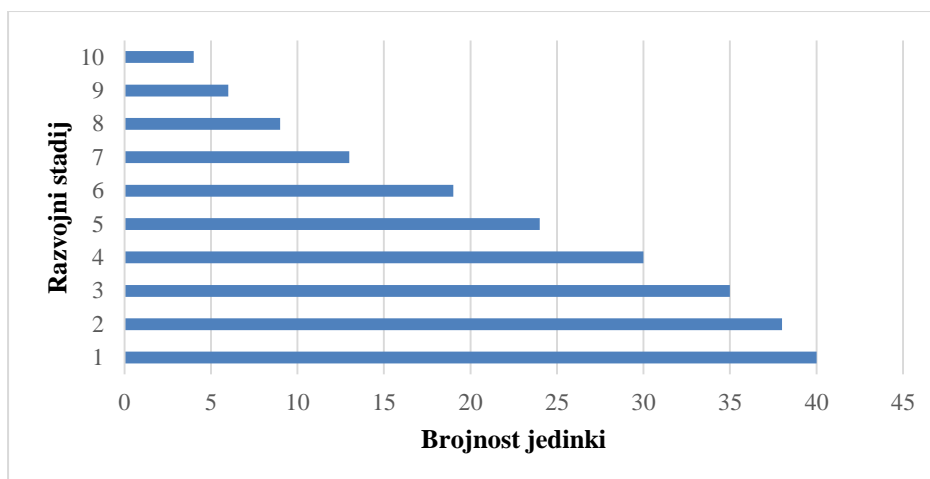
Slika 17. Odnos brojnosti jedinki obalčara iz roda *Protonemura* prema nedeterminiranim jedinkama

4.3.3. Određivanje uzrasne strukture obalčara

Određivanje uzrasne strukture provodila sam isključivo na ličinkama roda *Protonemura*. Za utvrđivanje uzrasne strukture mjerila sam širinu glave koja je i glavno morfometrijsko obilježje za utvrđivanje uzrasne strukture (Zwick, 2004.). Ličinke s barijere Labudovac sam izmjerila, ali nisam podvrgnula određivanju uzrasne strukture zbog nedovoljno velikog uzorka za podjelu na razrede. Ličinke *Protonemura* s izvora Bijele rijeke izmjerila sam i načinila ukupnu analizu uzrasne strukture, tj. veličinskih razreda (slika 18 i 19).



Slika 18. Pretpostavljeni broj ličinačkih stadija prema izmjerenim širinama glave jedinki obalčara iz roda *Protonemura* po uzoru na uzrasnu podjelu prema (Beracko i sur., 2007.)



Slika 19. Brojnost 10 ličinačkih stadija roda *Protonemura*

Utvdila sam 10 ličinačkih razvojnih stadija sukladno literaturnim informacijama (Beracko i sur., 2007.; Kozačekova i sur., 2009.). Broj jedinki pojedinog razvojnog stadija pada, a dimenzije glave eksponencijalno rastu – posebno u posljednjim razvojnim stadijima. Tako slijed veličinskih razreda ima eksponencijalni trend. Dakle najveći broj jedinki ima prvi veličinski razred, s 40 jedinki i rasponom vrijednosti širina glave od 0.12 mm do 0.18 mm, a najmanji broj jedinki ima deseti veličinski razred, s 4 jedinke i rasponom vrijednosti od 0.65 mm do 0.76 mm. Grafički prikaz sastavljen je od veličinskih razreda obalčara iz obje sezone te s oba staništa (brza i spora struja) u svrhu dobivanja smislene i čitave slike razvojnih stadija tijekom čitave godine.

5. RASPRAVA

Temperatura vode općenito sezonski oscilira na barijeri Labudovac, za razliku od izvora Bijele rijeke. To je posve jasno i očekivano s obzirom na to da su staništa barijere Labudovac locirana dovoljno nizvodno od izvorišnog područja te poprimaju kolebanja atmosferske temperature. Dodatno, ova su staništa nizvodno od jezera Prošće, čija temperatura dodatno ovisi i o insolaciji i o temperaturi zraka. Izvor Bijele rijeke očekivano je imao stabilnu temperaturu – srednju godišnju temperaturu okoline. Prema temperaturi ovaj izvor se smatra hladnim (Nichols i sur., 2014.).

U rano proljeće temperature vode ovih dvaju lokaliteta se poklapa, tj. istih su vrijednosti, vjerojatno zato što je površinski sloj jezera Prošće tada još ohlađen nakon zime te se temperatura tek počinje blago uspinjati. U jesen je očekivano, uslijed sezonskih promjena, temperatura Labudovca viša od one s izvora Bijele rijeke (Barquin i Death, 2011.).

Kao i temperatura, količina kisika na izvoru je praktički konstantna dok na Prošću oscilira; u proljeće je viša od one s izvora što je vjerojatno posljedica pojačane primarne proizvodnje, karakteristične za rano proljeće i produženje fotoperioda. Analogno tome, u jesenskom razdoblju, količina kisika na Prošću niža je od one na izvoru Bijele rijeke (McKinsey i Chapman, 1998.).

Što se tiče pH, vrlo je uočljivo da Labudovac ima viši pH za skoro jednu jedinicu u odnosu na izvor Bijele rijeke. To je očekivano jer Labudovac čine sedrene barijere koje podrazumijevaju višu razinu kalcijevih i karbonatnih iona, koji povećavaju bazičnost vode. Iako, primjećuje se da je na oba lokaliteta pH vrlo ujednačen tijekom obje sezone, za što je zaslužna krška podloga, koja prisutnom visokom koncentracijom iona u vodi ostvaruje puferski učinak vode koji sprječava veće oscilacije pH vrijednosti (Christensen, 2005.).

Električna provodljivost na oba je lokaliteta viša u proljeće, s porastom produkcije, međutim izraženo je viša na izvoru Bijele rijeke nego li na Labudovcu, što bi mogla biti posljedica većeg broja anorganskih iona koje izvor donosi iz podzemlja. Općenito je električna provodljivost vrlo visoka na oba lokaliteta, što je također vrlo očekivano, s obzirom na kršku podlogu koja snabdijeva vodu karbonatnim i bikarbonatnim ionima (Barquin i Death, 2011.).

Makrozoobentos na izvoru Bijele rijeke zastupljen je sa znatno većim brojem jedinki u odnosu na Labudovac; također, na izvoru je zabilježen i nešto veći broj

svojt. Takva ukupna situacija veće raznolikosti i brojnosti na izvoru Bijele rijeke vjerojatno je uzrokovana konstantnim fizikalno-kemijskim uvjetima tijekom cijele godine te prisustvu više svojta vodene vegetacije (Williams i Williams, 1998., Dumnicka i sur., 2007.) Izvor Bijele rijeke bogat je akvatičkim i semiakvatičkim makrofitima koji stvaraju raznolikiju mrežu mikrostaništa, skloništa, ali i izvora i spremišta organske tvari (Špoljar i sur., 2012.; Ivković i sur., 2015.). Sami makrofiti zapravo su rijetko direktan izvor hrane, već su prije svega značajni kao sustav akumulacije detritusa i razvoja biofilma, stoga privlače detritivore i strugače (Miliša i sur., 2006.).

Na barijeri Labudovac je kontinuirano tijekom obje sezone, najdominantniji red dvokrilci, točnije porodica trzalci, uz pravilnost da su u obje sezone brojniji na području spore struje. Spora struja im pogoduje s obzirom na to da su većinski saklupači po načinu hranjenja te da anatomski nisu prilagođeni na brža strujanja vode jer nemaju nikakvih organa za prianjanje ili pričvršćivanje uz podlogu (Konig i Santos, 2012.). Osim svega, trzalci su generalisti, kojima odgovara širok raspon ekoloških uvjeta te su vrlo zastupljeni u fauni većine slatkovodnih staništa (Mori i Brancelj, 2006., Gerecke i sur., 2011.).

Sljedeća kontinuirano najbrojnija skupina su kornjaši, koji su također generalisti (Elliott, 2008.), uz uočljivo veću brojnost u sezoni proljeća te na području brze struje. Bili oni predatori ili strugači, proljeće će im pogodovati većim obiljem hrane, dok im brza struja, na koju su prilagođeni robusnim i hitiniziranim tijelom, odgovara zbog veće količine kisika (Dietrich i Waringer, 1999.). Također, kraj ožujka kada sam uzorkovala još je bio preran za njihovu emergenciju (LeSage i Harper, 1976.), tako da su i zbog toga tada zatečeni u najvećoj brojnosti.

Od ekoloških generalista, koji nisu vodeni kukci, prilično ujednačeno se pojavljuju maločetinaši, koji kao eurivalentni organizmi nastanjuju velik broj različitih slatkovodnih staništa (Uzunov i sur., 1988.).

Brojnost tulara značajno je kolebala. U proljeće gotovo da ih uopće nema u bentalu, a u jesen na području brze struje su brojni koliko i trzalci. To se može objasniti ranim i ujednačenim (sezonskim) izlijetanjem (emergencijom) tulara u proljeće (Previšić i sur., 2007.). Trzalci pak nemaju tako jasno razlučen životni ciklus te izlijeću cijele godine, dok samo rijetke svojte tulara izlijeću cijele godine.

Što se tiče veće brojnosti tulara na staništima brze struje – uzrok su najvjerojatnije njihova funkcionalna hranidbena obilježja. Kao procjeđivačima (npr.

dominantni rod *Hydropsyche*), brza struja im odgovara radi većeg prinosa hranjivih čestica (Cardinale i sur., 2004.), stoga ne iznenađuje razlika između jesenske brojnosti na području brze i spore struje.

Ekološki su od iznimne važnosti sposobnosti izgradnje mreža kojima, mijenjaju svoj okoliš te tako djeluju na ekosustav, stoga pripadaju u skupinu organizama koje nazivamo inženjerima ekosustava (eng. *ecosystem engineers*) (Cardinale i sur., 2004.). Mreže služe i nekim drugim oportunističkim vrstama za hranjenje, a u kontekstu Plitvičkih jezera bitne su jer sudjeluju u procesu nukleacije kristala kalcita tijekom osedranja (Carthew i sur., 2003.). Također, važni su u slatkovodnim ekosustavima jer sudjeluju u prijenosu energije od sestona do tkiva životinja i nakupljaju čestice organske tvari iz toka čineći ih dostupnima za bentoske detritivore (Morse, 2003.). Navedene značajke čine ih bitnim elementom u slatkovodnom energetske toku. Iz tog razloga, njihova brojnost u jesen na području brze struje, kada ih ima koliko i trzalaca, je neočekivana i značajna. Naime, trzalci su dvostruko manji kukci od tulara i samim time je svojstveno da su proporcionalno brojniji. (Danks i Williams, 1991.; Wagner i sur., 1998.). Tako je ekološka značajnost tulara višestruko povećana.

Obalčari i vodencvjetovi, zanemarive su brojnosti na barijeri Labudovac.

Na izvoru Bijele rijeke zajednica je drugačija. Obalčari nadmašuju brojnošću ostale skupine te čine polovicu ukupnog makrozoobentosa. Njihova brojnost međutim, izraženo je viša u staništima brze struje vode. Naime, obalčari su izrazito stenovalentni s obzirom na količinu kisika te im odgovaraju staništa brze struje vode (reofilni su organizmi) te su dvostruko brojniji u staništima u brzjoj struji vode (Gauvin i Surdick, 1978.).

Ličinke trzalaca prisutne su i na izvoru, ali s velikim kolebanjem u brojnosti; u proljeće pri sporij struji ih ima toliko da su čak dvostruko brojniji od obalčara, da bi u jesen pri jednakoj struji bili jedva prisutni. Štoviše, u jesen, u staništima brze struje vode, trostruko su brojniji nego u staništima spore struje vode. Takva neočekivana jesenska inverzija mogla bi se objasniti povećanim brojem predatora (npr. Diptera - Empididae) na području spore struje te potencijalno i emergencijom trzalaca, kojima je glavni otponac izlijetanja – osvjetljenje koje je bilo izraženo tijekom relativno tople jeseni 2016. godine.

Kornjaši su brojnošću nestabilni, izraženo su prisutni jedino u proljeće pri brzjoj struji, vjerojatno zbog porasta izvora hrane.

Vodencvjetovi su kontinuirano prisutni s relativno malim brojem jedinki, slično kao i rakušci, imajući vrhunac brojnosti u jesen, na području brze struje, što se može dovesti u vezu s pojačanim prinosom alohtone tvari iz otpalog lišća. Rakušci imaju važnu ulogu u usitnjavanju listinca, čineći ga tako dostupnim za prehranu drugim beskralješnjacima (Beracko, Sykorova i Štangler, 2012.).

I na izvoru Bijele rijeke više od 90 % makrozoobentosa čine ličinke vodenih kukaca. S obzirom na konstantne fizikalno-kemijske parametre ovog rekrenog izvora, ne iznenađuje što dominira stenovalentna skupina kao što su obalčari, uz stabilno prisustvo drugih ekološki osjetljivih skupina kao što su vodencvjetovi i rakušci. Ovakav sastav zajednice indikator je visoke kvalitete, tj. čiste i organski neopterećene vode na izvoru Bijele rijeke (Al-Shami i sur., 2013.).

Izolirane ličinke obalčara, koje sam uspjela determinirati, pripadaju rodu *Protonemura*. Ovaj se rod lako prepoznaje po obliku i broju škrge: škrge su kobasičastog oblika i raspoređene po tri u svakom svežnju (Zwick, 2004.). Rod *Protonemura* često je prisutan i široko rasprostranjen u Europi, naročito s vrstom *Protonemura intricata* (Fochetti i Tierno de Figueroa, 2004.). Ličinke koje nisam uspjela determinirati, bile su većinski juvenilne, te su kao takve nedovoljno anatomske izdefinerane. Također, nisam mogla determinirati ličinke, koje su se previše oštetile prilikom uzorkovanja ili izoliranja, no takvih je bilo zanemarivo mali broj.

Uzrasnu strukturu obalčara sastavila sam na temelju izmjerenih širina glava ličinki roda *Protonemura* s izvora Bijele rijeke. Kako se uglavnom smatra da je temperatura vode glavni čimbenik životnog ciklusa i bioloških svojstava obalčara (Hynes, 1976.; Brittain, 1990.), zanimljivo je vidjeti obrazac promjene razvojnih stadija na izvoru, na staništu s konstantnom temperaturom tijekom cijele godine.

Grafički prikaz veličinskih razreda načinila sam od promjena u rastu tijekom obje sezone, što je u skladu sa saznanjem da većina obalčara, kao i oni roda *Protonemura* imaju univoltni životni ciklus (Zwick, 1981.).

Općenito veličinskih razreda obalčara ima deset (Beracko, 2007.), što sam primijenila na izolirane ličinke roda *Protonemura*. Prvi veličinski razred, s najmanjim vrijednostima širine glave, ima najveći broj jedinki. Svaki daljnji razred ima postupno sve manji broj jedinki i promjena razreda je sve strmija. Tako će posljednji, deseti veličinski razred imati deset puta manji broj jedinki nego što ih ima prvi. Ukupna slika slijeda razreda ima eksponencijalnu raspodjelu.

Takvo postupno smanjenje brojnosti jedinki u kasnijim ličinačkim stadijima je višestruko uvjetovan. Utjecaj biotičkih čimbenika kao što je kompeticija, predatorstvo ili parazitizam uvjetuje da što je ličinka duže prisutna u svojoj ekološkoj niši, izloženija je preklapanju s ekološkim nišama drugih životinja (Malmqvist, 1993.), a i jednostavno je veća mogućnost ugibanja starijih jedinki. Nadalje, u okviru životnog ciklusa *Protonemura*, kao i u drugih kukaca, rast ličinki izrazito je spor u prvom dijelu životnog ciklusa te pojačano ubrzava što se bliži vrijeme emergencije (Marten i Zwick, 1989.).

U uzorcima uočavam sezonske razlike u raspodjeli veličinskih razreda. U proljeće su na obje struje prisutni gotovi svi veličinski razredi, a u jesen su širine glave puno manje i zastupljene su kroz otprilike prva četiri veličinska razreda uz pokoju iznimku višeg razreda. Takva je raspodjela u skladu s univoltinim životnim ciklusom obalčara (Marten i Zwick, 1989.): obalčari emergiraju uglavnom u proljeće ili ljeto, točnije od svibnja do kolovoza (Illies, 1971.; Kis, 1974.; Krno, 2004.). Također, ovakav sezonski raspored vrijednosti može korelirati s dužinom fotoperioda; naime, dužina fotoperioda proporcionalna je stopi rasta (Kozačekova, 2009.).

Viši veličinski razredi u proljetnoj populaciji upućuju na ubrzani rast i skorbu emergenciju. Niži veličinski razredi u proljetnoj populaciji imat će kasniju emergenciju, vjerojatno sredinom ili krajem ljeta (Kozačekova, 2009.).

Uglavnom niži veličinski razredi u jesen ukazuju na početak životnog ciklusa, razdoblje nakon inkubacije i dijapauze jajašaca u ljeto (Hynes, 1970.), u kojemu vlada najsporija stopa rasta (Marten i Zwick, 1989.). Isto tako, već je navedeno da stopa rasta ovisi o dužini fotoperioda, koji je u jesen sve kraći (Kozačekova, 2009.). Međutim, postoje i ličinke iz jesenske populacije koje pripadaju osmom i devetom veličinskom razredu. Takve su iznimke vjerojatno posljedica odgođene emergencije za jesen (Illies, 1971.; Kis, 1974.; Krno, 2004.). Odgoda može nastati zbog manjka hrane, tj. otpalog lišća i detritusa u ljeto, što se odražava na sporiji rast do povećanja resursa, u jesen (Gerhardt, 1986.).

6. ZAKLJUČAK

U ovom sam radu usporedila sastav i brojnost jedinki makrozoobentosa te analizirala uzrasnu strukturu obalčara dvaju lokaliteta Plitvičkih jezera: sedrene barijere Labudovac i izvora Bijele rijeke, tijekom proljeća i jeseni 2016. godine.

Više od 90% makrozoobentosa oba lokaliteta čine ličinke vodenih kukaca.

Brojnost makrozoobentosa na izvoru Bijele rijeke veća je nego na barijeri Labudovac, zbog ujednačenih fizikalno-kemijskih uvjeta tijekom cijele godine i velikog broja makrofita.

Makrozoobentosom barijere Labudovac dominiraju generalisti kao što su trzalci, kornjaši i maločetinaši. Prevlast ovih svojti posljedica je veće organske opterećenosti i veće oscilacije fizikalno-kemijskih parametara (temperatura i kisik) barijere Labudovac.

Obalčari su kao stenovalentni, reofilni organizmi, dominantna svojta na izvoru Bijele rijeke. Također, na izvoru su stabilno prisutne druge stenovalentne skupine kao vodencvjetovi i rakušci. Ovakav sastav zajednice ukazuje na visoku kvalitetu i čistoću vode izvora Bijele rijeke.

Uzrasnu strukturu određivala sam samo nad ličinkama obalčara s izvora Bijele rijeke. Ličinki obalčara na barijeri Labudovac ima zanemarivo malo.

Izolirane jedinke obalčara, koje sam uspjela determinirati, pripadaju rodu *Protonemura*. Na temelju širina njihovih glava, odredila sam 10 ličinačkih stadija kroz obje sezone. Veličinski razredi imaju eksponencijalnu raspodjelu što znači da je stopa rasta proporcionalna veličini razreda. U jesenskoj sezoni, u prvom dijelu njihovog univoltnog životnog ciklusa, zastupljeni su niži veličinski razredi. S druge strane, u proljetnoj su sezoni zastupljeni svi veličinski razredi: nižem veličinskom razredu pripadaju ličinke koje emergiraju u ljeto, a višem veličinskom razredu pripadaju ličinke koje emergiraju u proljeće.

Kako je izvor Bijele rijeke konstantan s obzirom na temperaturu, fotoperiod je glavni ekološki čimbenik koji određuje promjenu u ličinačkom razvoju i životnom ciklusu.

7. LITERATURA

AL-SHAMI, S., A., HEINO J., CHE SALMAH, M., R., ABU HASSAN, A., SUHAILA, A.,H., MADZIATUL, R., M., 2013. Drivers of beta diversity of macroinvertebrate communities in tropical forest streams. *Freshwater Biology*. 58(6):1126–1137

BARQUIN, J., DEATH, R., G., 2011. Downstream changes in spring-fed stream invertebrate communities: the effect of increased temperature range. *J. Limnol.* 70: 134-146

BERACKO, P., SYKOROVA, A., ŠTANGLER, A., 2012. Life history, secondary production and population dynamics of *Gammarus fossarum* (Koch, 1836) in a constant temperature stream. *Biologia* 67/1: 164-171

BOTTOVA, K., DERKA, T., BERACKO, P., TIerno DE FIGUEROA, J. M., 2013. Life cycle, feeding and secondary production of Plecoptera community in a constant temperature stream in Central Europe. *Limnologica*, 43: 27-33

BRITTAIN, J., E., 1990. Life history strategies in Ephemeroptera and Plecoptera. *Mayflies and Stoneflies: Life history and Biology*: 1–12

CARDINALE, B. J., GELMANN, E. R., PALMER, M. A. (2004): Net spinning caddisflies as stream ecosystem engineers: the influence of Hydropsyche on benthic substrate stability

CARTHEW, D., K., DRYSDALE, R., N., TAYLOR, M., P., 2003. Tufa deposits and biological activity, Riversleigh, northwestern Queensland.

CHAFETZ, H. S. I FOLK, P. L., 1984. Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology* 54: 289 – 316

CHRISTENSEN, E., D., 2005. Assessments, water-quality trends, and options for remediation of acidic drainage from abandoned coal mines near Huntsville, Missouri, 2003-2004

DANKS, H., V., WILLIAMS, D., D., 1991. Arthropods of springs, with particular reference to Canada: synthesis and needs for research. Mem. Entomol. Soc. Can. 155: 203-217

DIETRICH, F., WARINGER, J., A., 1999. Distribution patterns and habitat characterization of Elmidae and Hydraenidae (Insecta: Coleoptera) in the Weidlingbach near Vienna, Austria. International Review of Hydrobiology 84: 1-15

DUMNICKA, E., GALAS, J., KOPERSKI, P., 2007. Benthic invertebrates in karst springs? Does substratum or location define communities? Int. Rev. Hydrobiol. 92: 452-464

ELLIOTT, J., M., The ecology of riffle beetles (Coleoptera: Elmidae)

FOCHETTI, R., TIerno DE FIGUEROA, J., M., 2004. Plecoptera. Fauna Europaea Web Service. www.faunaeur.org

GERHARDT, A. 1986. Qualitative und quantitative Untersuchungen zum Detritusgehalt des Breitenbaches (Osthessen)

HAIDEKKER, A., HERING, D., 2008. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: a multivariate study. Aquat. Ecol. 42: 463-481

HYNES, H., B., N., 1970. The ecology of running waters. Liverpool University Press: 1-555

HYNES, H., B., N., 1976. Biology of Plecoptera. Annu. Rev. Entomol. 21: 135–153

ILLIES, J., 1971: Emergenz 1969 im Breitenbach. Schlitzer produktionsbiologische Studien (1). Arch. Hydrobiol. 69: 14–59

- IVKOVIĆ, M., MILIŠA, M., BARANOV, V., MIHALJEVIĆ, Z., 2015. Environmental drivers of biotic traits and phenology patterns of Diptera assemblages in karst springs: The role of canopy uncovered. *Limnologica* 54: 44-57
- KIS, B., 1974. Insecta. Plecoptera. Fauna Republicii Socialiste Românie. Vol. 8, fasc. 7., Academiei
- KONIG, R., SANTOS, S., 2012. Chironomidae (Insecta: Diptera) of different habitats and microhabitats of the Vacacai-Mirim River microbasin, Southern Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 3: 975-985
- KOZAČEKOVA, Z., TIerno DE FIGUEROA, J., M., LOPEZ-RODRIGUEZ, M., J., BERACKO, P., DERKA, T., 2009. Life History of a Population of *Protonemura intricata* (RIS, 1902) (Insecta, Plecoptera) in a Constant Temperature Stream in Central Europe. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 94: 57-66
- KRNO, I., 2004. Nemouridae (Plecoptera) of Slovakia: autoecology and distribution, morphology of nymphs. *Entomological problems* 34: 125–138
- LeSAGE, L., HARPER, P., P., 1976. Cycles biologiques d'Elmidae (coleopteres) de ruisseaux des laurentides. *Annales de Limnologie* 12: 139-174
- MALMQVIST, B., 1993. Interactions in stream leaf packs: effects of a stonefly predator on detritivores and organic matter processing. *OIKOS* 66: 454-462
- MARTEN, M., ZWICK, P., 1989. The temperature dependence of embryonic and larval development in *Protonemura intricata* (Plecoptera: Nemouridae). *Freshw. Biol.* 22: 1-14
- McKINSEY, D., M., CHAPMAN, L., J., 1998. Dissolved oxygen and fish distribution in a Florida spring. *Environ. Biology of Fishes* 53: 211-223
- MILIŠA, M., MATONIČKIN KEPCĬJA, R., RADANOVIĆ, I., OSTOJIĆ, A., HABDIJA, I., 2006. The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium*

mariscus (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia* 573: 183-197

MORI, N., BRANCELJ, A., 2006., Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquat. Ecol.* 40: 69-83

PREVIŠIĆ, A., KEROVEC, M., KUČINIĆ, M., 2007. Emergence and Composition of Trichoptera from Karst Habitats, Plitvice Lakes Region, Croatia.

MORSE, J., C., 2003. Trichoptera (caddisflies). *Encyclopedia of insects*: 1145-1151

NICHOLS, A., L., WILLIS, A., D., JEFFRES, C., A., DEAS, M., L., 2014. Water temperature patterns below large groundwater springs: management implications for coho salmon in the Shasta river, California. *River. Res. Applic.* 30: 442-455

RIĐANOVIĆ, J., 1994. Geografski smještaj (položaj) i hidrogeografske značajke Plitvičkih jezera. Plitvička jezera- nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština: znanstveni skup. Uprava nacionalnog parka Plitvička jezera, Zagreb.

STILINOVIĆ, B., BOŽIČEVIĆ, S., 1998. The Plitvice lakes. A natural phenomenon in the middle of the Dinaridic Karst in Croatia. *European Water Management* 1/1, 15 – 24

SWEENEY, B., M., 1984. Factors influencing life-history patterns of aquatic insects. *The Ecology of Aquatic Insects*: 56-100

SWEENEY, B., W., VANNOTE, R., L., 1978. Size variation and distribution of hemimetabolous aquatic insects: two thermal equilibrium hypotheses. *Science* 200, 444-446

ŠPOLJAR, M., DRAŽINA, T., OSTOJIĆ, A., MILIŠA, M., GLIGORA-UDOVIČ, M., ŠTAFA, D., 2012. Bryophyte communities and seston in a karst stream (Jankovac stream, Papuk Nature Park, Croatia). *Ann. Limnol. – Int. J. Limnol.* 48: 125-138

- TIERNO DE FIGUEROA, J. M., BO, T., LOPEZ-RODRIGUEZ, M. J., FENOGLIO, S., 2009. Life cycle of three stonefly species (Plecoptera) from an Apenninic stream (Italy) with the description of the nymph of *Nemoura hesperiae*. *Annales de la Société entomologique de France*, 45:3, 339-343
- UZUNOV, J., KOŠEL, V., SLADEČEK, V., 1988. Indicator value of freshwater Oligochaeta. *Clean Soil Air Water* 16: 173-186
- WAGNER, R., FISCHER, J., SCHNABEL, S., 1998. The dipteran community of central European springs: 157-165
- WATANABE, N., C., MORI, I., YOSHITAKA, I., 1999. Effect of water temperature on the mass emergence of the mayfly, *Ephoron shigae*, in Japanese river (Ephemeroptera: Polymitarcyidae). *Freshw. Biol.* 41: 537-541
- WILLIAMS, D., D., WILLIAMS, N., E., 1998. Invertebrate communities from freshwater springs: what can they contribute to pure and applied ecology? *Studies in Crenobiology. The Biology of Springs and Springbooks.* 251-261
- ZWICK, P., 1981. Diapause development of *Protonemura intricata* (Plecoptera: Nemouridae). *Verh. int. Ver. Limnol.* 21: 1607-1611
- ZWICK, P., 2004. A key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in larval stage. *Limnologica*, 34: 315-348

8. ŽIVOTOPIS

Rođena sam u Zagrebu, 27. 2. 1993. godine. Tamo sam završila osnovnu školu 2007. godine, nakon čega sam upisala Klasičnu gimnaziju te ju završila 2011. godine. Iduće godine upisala sam se na Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Preddiplomski studij biologije završila sam 2015. godine i iste sam godine na istome fakultetu upisala Diplomski studij ekologije i zaštite prirode.

Tijekom studiranja, volontirala sam na izolaciji makrozoobentosa, na projektu Multisek, u sklopu fakulteta. Odlično govorim i pišem engleski jezik, a služim se i francuskim.